

软土深基坑大变形肇灾成因分析及预警研究

周 冬

(陕西铁路工程职业技术学院, 渭南 714000)

摘 要: 为合理掌握软土深基坑的大变形肇灾成因, 并有效实现其预警分级。基于软土深基坑所处地质条件、变形成果等信息, 在开展基坑大变形特征分析及其肇灾成因分析基础上, 结合沉降变形、侧位移变形数据开展其预警分级研究, 且在预警分级过程中, 提出先对变形数据进行去噪处理, 以得到真实变形量, 再以真实变形量为基础, 通过累计变形判据和变形速率判据联合实现基坑预警等级划分。结果表明: 软土基坑大变形肇灾成因主要包括地层肇灾成因、降水异常肇灾成因、临边荷载肇灾成因、支撑作用不理想肇灾成因, 各因素并非单一作用, 是共同耦合作用造成了基坑大变形; 同时, 不同监测项目或监测点的预警等级存在一定差异, 按不利原则, 综合确定基坑的预警等级为Ⅳ级。

关键词: 软土; 深基坑; 肇灾成因; 去噪处理; 预警分级

中图分类号: TU47 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8249 (2026) 05-0108-07

DOI: 10.19860/j.cnki.issn1005-8249.2026.05.016

Study on the Cause Analysis and Early Warning of Large Deformation Disaster in Soft Soil Deep Foundation Pit

ZHOU Dong

(Shaanxi Railway Institute, Weinan 714000, China)

Abstract: To reasonably grasp the causes of large deformation disasters in soft soil deep foundation pits and effectively achieve their warning classification. Based on the geological conditions and deformation results of soft soil deep foundation pits, and the analysis of the characteristics of large deformation in foundation pits and the causes of disasters, combined with settlement deformation and lateral displacement deformation data, a warning classification study is carried out. In the warning classification process, it is proposed to first denoise the deformation data to obtain the true deformation amount, and then use the true deformation amount as the basis to jointly achieve the classification of foundation pit warning levels through cumulative deformation criteria and deformation rate criteria. The results show that the causes of large deformation in soft soil foundation pits mainly include geological hazards, abnormal precipitation hazards, edge load hazards, and inadequate support hazards. Each factor is not a single effect, but a joint coupling effect that causes large deformation in the foundation pit; At the same time, there are certain differences in the warning levels of different monitoring projects or monitoring points. According to the principle of disadvantage, the warning level of the foundation pit is comprehensively determined as level IV.

Key words: soft soil; deep foundation pit; cause of disaster; noise removal; early warning classification

项目来源: 陕西省自然科学基金基础研究计划 (2022JQ-570); 陕西铁路工程职业技术学院科研基金 (KY2021-62)。

作者简介: 周 冬 (1982—), 男, 硕士, 讲师, 研究方向: 地下工程与桥梁施工。

收稿日期: 2024-05-08

0 引言

在城市建设的快速发展过程中,受环境、地质条件等限制,软土深基坑数量越来越多;同时,由于软土深基坑开挖具三维空间特征,使得其变形控制显得尤为重要,且结合工程实际,易出现实际变形量大于变形控制值的情况,即易出现大变形现象,因此,开展软土深基坑大变形肇灾成因分析和预警研究具有重要的现实意义^[1-2]。

目前,已有不少学者开展了相近研究,如龚模松等^[3]结合变形监测数据,开展了基坑大变形特征分析,并进行了应急处理措施研究;倪小东等^[4]研究了基坑大变形诱因,为其后续防治奠定了理论基础;上述研究虽取得了相应成果,但以往所涉研究相对较少,且未系统性开展基坑大变形肇灾成因分析和预警研究,仍有必要进一步拓展此两方面研究。由于软土深基坑大变形的成因较为复杂,为确保其分析结果的准确性,提出基于软土深基坑所处地质条件、变形成果等信息,综合开展基坑大变形肇灾成因分析。结合王娟等^[5]、鞠兴华等^[6]及张志会等^[7]的研究成果,基坑变形预测判据可从基坑累计变形和变形速率两方面入手。同时,根据张敏等^[8]、牛全福等^[9]和郭健等^[10]的研究成果,基坑变形监测数据含有一定的误差信息,其会影响基坑变形预警结果,因此,在开展基坑预警分级前,需先进行基坑变形数据的去噪处理。在基坑变形数据去噪模型构建过程中,考虑到分模态分解(Variational Mode Decomposition, VMD)可实现数据由低频至高频的合理分离,所得结果具较好的自适应性和正交性,且与以往去噪模型相比,VMD模型能更为有效的剔除冗余分量,其优越性明显,因此,提出以其构建基坑变形数据的去噪模型。在VMD模型应用过程中,若分解层数过多,易出现混频问题;若分解层数过少,其各模态中心频率难以有效确定;若惩罚因子不合适,也不利于保存模态分量。为保证去噪效果,提出对上述两参数均进行优化处理。结合陈竹安等^[11]的研究成果,提出利用双重变分模态分解(Dual Variational Mode Decomposition, DVMD)开展基坑变形数据的二次分解处理,以搜寻最佳的分解层数再利用粒子群算法(Particle Swarm Optimization,

PSO)开展惩罚因子寻优^[12-13]。分解模态中难免还会存在一定的随机噪声,为进一步提高去噪效果,提出再利用小波阈值(Wavelet Threshold, WT)对各分解模态进行进一步的噪声剔除^[14-15]。因此,将基坑变形数据去噪模型最终确定为 PSO-DVMD-WT 模型。最后,通过 PSO-DVMD-WT 模型对基坑变形数据的去噪处理,能得到真实变形量,并以其开展后续累计变形判据和变形速率判据条件下的预警分级。

综合上述,以大变形软土深基坑为实例背景,先开展其大变形肇灾成因分析,再基于变形监测数据,通过累计变形判据和变形速率判据实现其预警分级,且为保证分级结果的准确性,提出先对变形监测数据进行去噪处理,利用去噪后的真实变形量开展分析。通过研究,合理掌握了软土深基坑大变形肇灾成因及其预警等级,以期为其防治提供一定的理论指导。

1 分析方法构建

1.1 数据去噪模型的构建

通过 PSO-DVMD-WT 模型可将基坑变形数据分离为真实变形量和随机噪声,并提出将去噪效果的评价指标确定为信噪比 SNR:

$$SNR = 10 \lg \frac{p_s}{p_n} \quad (1)$$

式中: p_s 为基坑原始变形序列的功率; p_n 为剔除随机噪声后变形序列的功率。

SNR 值越小,对应去噪效果越差;反之,去噪效果越好。

当完成基坑变形数据去噪处理后,以其真实变形量开展后续累计变形判据和变形速率判据条件下的预警分级。

1.2 预警分级判据的构建

1.2.1 累计变形判据

一般来说,基坑某位置的变形破坏是达到一定变形值后才会发生,可通过现有累计值 S_t 与其对应破坏时的极限累计值 S_c 构建出累计变形判据,累计变形判据条件下的评价指标 F_s 为:

$$F_s = S_t / S_c \quad (2)$$

F_s 值越小,对应基坑监测点处的剩余变形量相对更大,其安全性越高,对应预警等级相对更小。

研究与应用

结合相关文献 [9] 成果, 可利用双曲线模型求解 S_c 值, 公式为:

$$y_t = t/(a + bt) \tag{3}$$

式中: y_t 为拟合值; a 、 b 为拟合参数; t 为时间变量。

当时间变量 t 趋近于无穷大时, 式 (2) 趋近于极大值 $1/b$, 其即为极限变形值 S_c 。

1.2.2 变形速率判据

由于变形速率值相对较小, 难以通过变形预测等手段构建其预警判据, 且结合文献 [16-17] 研究成果, 非趋势波动分析方法 (Detrended Fluctuation Analysis, 简称: DFA 分析) 能有效判断变形序列的发展趋势, 因此, 以其构建变形速率判据。

通过 DFA 分析可得到标度指数 a , 并以其开展

变形速率的发展趋势评价, 且 a 值距 0.5 越远, 其对应趋势性相对越强, 因此, 以 a 值与 0.5 间差值的绝对值 d 为基础, 构建出变形速率序列的趋势等级划分标准, 见表 1。

表 1 变形速率序列的趋势等级划分标准

Table 1 Grading criteria of deformation rate series trend			
趋势等级	1 级	2 级	3 级
区间范围	$d < 0.15$	$0.15 \leq d < 0.30$	$d \geq 0.30$

为进一步分析变形速率序列的基础特征, 再引入相关性参数 C_M 进行评价。

1.3 预警分级标准的构建

结合工程实际经验, 将基坑预警等级划分为四级, 具体分级标准及相应处理措施统计见表 2。

表 2 基坑预警等级划分标准

Table 2 Classification standard of foundation pit warning level				
预警等级	I 级-绿色	II 级-黄色	III 级-橙色	IV 级-红色
安全状态	安全	基本安全	较危险	非常危险
累计变形判据	$F_s \leq 0.7$	$0.7 < F_s \leq 0.8$	$0.8 < F_s \leq 0.9$	$F_s > 0.9$
变形速率判据	减小趋势	增加趋势 (1 级)	增加趋势 (2 级)	增加趋势 (3 级)
处理措施	基坑安全性较高, 只需正常监测即可。	应时刻关注监测数据, 若出现异常, 应及时汇报, 并做好防灾预案。	应增加监测频率, 时刻反馈监测成果, 并响应防灾预案; 同时, 组织专家讨论补救措施。	除增加监测频率外, 还应立即停工, 并响应防灾预案; 同时, 组织专家确定补救措施, 再加以实施稳定后再开展后续工作。

注: 最终预测预警等级按两类判据的不利原则确定。

2 实例分析

2.1 工程概况

某地铁基坑近似沿东西展布, 采用地下两层岛式结构, 总长约 240 m, 宽度约为 19.7 m, 深度约 17.8 m, 采用明挖顺作施工, 基坑降水水位保持在开挖面以下 1 m; 基坑主体结构采用地连墙进行施工, 墙厚 0.8 m, 标准幅为 6 m; 沿基坑深度方向, 共计设置 5 道横向支撑, 其中, 第一道和第三道为钢筋混凝土支撑, 其余均为钢支撑。

结合现场勘察成果, 基坑所处地质条件总结如下:

地形地貌条件: 基坑区属堆积平原地貌, 高程间于 6.51~8.06 m, 相对高差 1.55 m, 总体地形起伏较小。

地层岩性条件: 沿深度变化, 基坑区地层岩性

变化较大, 在地表至基坑设计深度范围内, 地层主要是填土、淤泥、淤泥夹砂及含泥中细砂, 前三者总体呈相间断续分布, 厚度多小于 5 m; 含泥中细砂在基坑区广泛分布, 坑底亦属该层范围, 其厚度 1.5~13 m。在基坑设计深度至封底范围内, 地层主要是淤泥夹砂、含泥中细砂及粉细砂, 其中, 两者间主要是以淤泥夹砂分布, 其封底底部主要是粉细砂。在基坑封底范围以下, 地层主要是粉细砂, 更深部还具中粗砂、卵石, 未揭露基岩。

地质构造条件: 据区域地质资料显示, 基坑区及附近未见大断裂构造发育, 次生构造也不发育, 即地质构造对基坑影响较小。

水文条件: 基坑区附近地表水体主要是东侧 300 m 处发育有一河流, 由于距离较远, 对基坑施工的影响较小。区内地下水主要为上层滞水和潜水, 前者主要分布于浅表部地层孔隙中, 水位埋深约

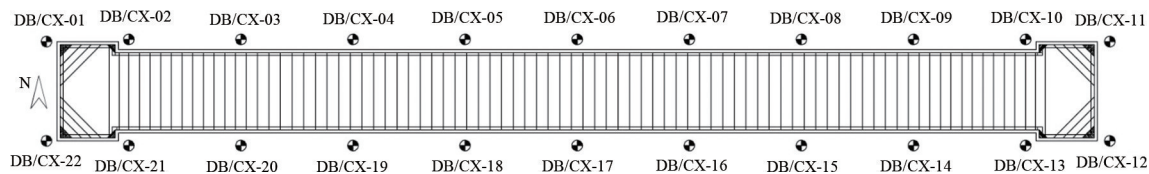
2.80~3.35 m，分布位置及深度随季节性变化较大；后者主要分布于深部地层孔隙中，具有统一水面，水力联系较为紧密，其水位埋深主要是 3.52~3.98 m。

不良地质作用条件：基坑区及其附近地形起伏较小，不具常规地质灾害的发育条件，但区内地层

主要呈流塑~软塑状态，在基坑支护或降水过程中，极有可能引发沉降变形。

2.2 基坑大变形特征分析

结合基坑工程实际，分别布设了 22 个监测点，其位置如图 1 所示。



注：DB 是沉降变形监测点；CX 为侧位移监测点。

图 1 基坑变形监测点布置图

Fig. 1 Layout of foundation pit deformation monitoring points

统计得到沉降变形的现有累计变形值见表 3。基坑不同位置处的沉降变形差异较大，其特征参数为：沉降变形值的变化范围为 30.11~81.45 mm，平均值为 52.93 mm。

为进一步掌握基坑沉降在各方位上的变形均值，再将沉降变形进行方位上的特征参数统计，其中，西侧：DB-01~02 监测点和 DB-21~22 监测点，北侧：DB-03~09 监测点，其余两侧类似统计。经统计，北侧沉降变形均值为 64.93 mm，南侧沉降变形均值为 60.79 mm，西侧沉降变形均值为 32.73 mm，东侧沉降变形均值为 38.36 mm，以基坑长边向的沉降变形更为显著。

表 3 沉降变形的累计变形值统计

Table 3 Statistics of cumulative deformation values of settlement deformation

监测点编号	变形值/mm	监测点编号	变形值/mm
DB-01	32.18	DB-12	30.11
DB-02	31.09	DB-13	37.54
DB-03	46.21	DB-14	40.26
DB-04	69.76	DB-15	71.6
DB-05	71.05	DB-16	59.48
DB-06	63.74	DB-17	78.66
DB-07	81.45	DB-18	70.46
DB-08	60.15	DB-19	61.38
DB-09	62.14	DB-20	43.67
DB-10	43.62	DB-21	41.25
DB-11	33.69	DB-22	34.86

据表 4，基坑不同位置处的侧位移变形差异也较大，其特征参数为：侧位移的变化范围为 50.82~91.54 mm，平均值为 70.98 mm。

基坑各方位上的侧位移的均值：北侧为 75.05 mm，南侧为 77.45 mm，西侧为 59.91 mm，东侧为 63.59 mm，同样以基坑长边向的侧位移更为显著。

表 4 沉降变形的累计变形值统计

Table 4 Statistics of cumulative deformation values of settlement deformation

监测点编号	变形值/mm	监测点编号	变形值/mm
CX-01	63.22	CX-12	50.82
CX-02	59.35	CX-13	66.25
CX-03	78.52	CX-14	71.56
CX-04	84.26	CX-15	75.32
CX-05	73.42	CX-16	79.01
CX-06	77.03	CX-17	91.54
CX-07	61.26	CX-18	71.56
CX-08	72.26	CX-19	75.78
CX-09	78.59	CX-20	77.39
CX-10	71.62	CX-21	55.62
CX-11	63.89	CX-22	63.22

同时，为进一步掌握基坑侧位移随深度的变化关系，在基坑开挖过程中，将其划分 4 个工况条件，即：

工况 1：施做完地连墙及导墙，并开展基坑降水处理。

工况 2：开挖至第二道支撑中心线下 0.5 m，并正在施做第二道支撑。

工况 3：开挖至第四道支撑中心线下 0.5 m，并正在施做第二道支撑。

工况 4：开挖至底板，并施做完防水层等结构。

由图 2 可知，不论何种工况条件，侧位移值具先增加后减小特征，且由工况 1 至工况 4，相应深度处

研究与应用

的侧位值也具增加趋势。同时,工况 1 至工况 4 的最大侧位 移 分 别 位 于 $0.258H$ 、 $0.815H$ 、 $0.787H$ 、 $0.730H$ 处 (H 为开挖深度),后 3 个工况的最大侧位 移 位 置 相 近。

据设计资料,该基坑沉降变形控制值为 30 mm, 侧位移控制值为 35 mm;结合表 3、表 4,得出其实 际变形远大于变形控制值,具大变形特征,侧面也 验证了开展此类研究的必要性。

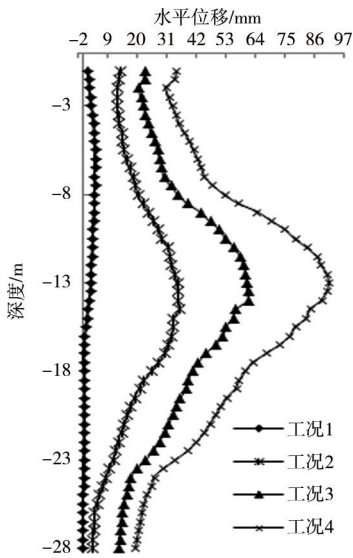


图 2 CX-17 监测点在不同工况条件下的侧位值
Fig.2 Lateral values of CX-17 monitoring point under different working conditions

2.3 肇灾成因分析

结合软土深基坑所处地质条件及工程信息,开展基坑大变形肇灾成因分析。

2.3.1 地层肇灾成因

基坑开挖范围内地层主要为填土、淤泥、淤泥 夹砂及含泥中细砂,其多呈流塑~软塑状态,自身本 就具高压缩性;同时,基坑开挖具三维空间特征。 因此,地层肇灾成因是基坑大变形发生的重要固有 因素之一。

2.3.2 降水异常肇灾成因

基坑区上层滞水的水位埋深约 2.80~3.35 m,潜 水的水位埋深约 3.52~3.98 m,且基坑开挖深度为 17.8 m;在后期降水作用下,会有效增加土体有效 应力,促使其发生过大变形。

2.3.3 临边荷载肇灾成因

基据倪小东等^[4]研究成果,若堆载为 30 kN/m,

临边荷载是基坑大变形的重要肇灾成因之一。

2.3.4 支撑作用不理想的肇灾成因

若支撑作用不理想,也势必增加基坑变形量, 且当支护结构的刚度缩减 30 %时,其位移量可增加 接近一半,充分说明该因素对基坑大变形的影响 能力。

据上,基坑大变形肇灾成因相对较多,且并不 是单一因素作用造成基坑大变形的发生,是多种因 素共同耦合作用造成的。

2.4 基坑预警分级研究

提出选取沉降变形和侧位移变形中对应变形最 大的 4 个监测点开展后续预警分级研究,其中,沉降 变形选取 DB-05、DB-07、DB-15 及 DB-17 监测 点;侧位移变形选取 CX-04、CX-09、CX-16 及 CX-17 监测点。

2.4.1 数据去噪结果分析

采用 PSO-DVMD-WT 模型开展基坑变形数据的 去噪处理,且为验证分解层数、惩罚因子等优化处 理方式的有效性,对不同优化阶段的去噪效果均进 行统计,结果见表 5。从 VMD 模型→DVMD 模型→ PSO-DVMD 模型→PSO-DVMD-WT 模型,对应 SNR 值的变化为:35.06→37.07→40.75→44.95,即 SNR 值具持续增加趋势,只是不同阶段的增加幅度不一 致,充分说明各优化手段的有效性,也证明了 PSO- DVMD-WT 模型在基坑变形数据处理中的适用性。

表 5 数据去噪结果统计

Table 5 Statistics of data denoising results	
模型分类	SNR 值/dB
VMD 模型	35.06
DVMD 模型	37.07
PSO-DVMD 模型	40.75
PSO-DVMD-WT 模型	44.95

通过 PSO-DVMD-WT 模型的数据分解处理,将 基坑变形数据分离为了真实变形量和随机噪声,并 将真实变形分量作为后续预警分级的基础数据。

经处理,得到各监测点真实累计值(即后续分 析中的现有累计值)分别为:

DB-05: 69.05 mm	DB-07: 79.56 mm
DB-15: 70.01 mm	DB-17: 76.33 mm
CX-04: 82.16 mm	CX-09: 77.02 mm
CX-16: 76.59 mm	CX-17: 89.05 mm

2.4.2 结果分析

共构建了两类预警判据，即累计变形判据和速率变形判据，结合去噪处理后的基坑真实变形分量。

(1) 累计变形判据的预警结果

据表 6，在极限累计值求解过程中，拟合度范围为 0.946~0.960，平均值为 0.952，具有较优的拟合精度；结合沉降变形的极限累计值及现有累计值，

计算得到分级指标 F_s 范围为 0.788~0.906，说明 4 个沉降监测点的预警等级存在一定差异，其中，DB-07 监测点的预警等级相对最高，已达Ⅳ级；DB-05 监测点的预警等级相对最低，属Ⅱ级预警；其余两监测点均为Ⅲ级预警。以分级指标 F_s 大小为依据，将 4 个监测点的安全性由弱至强排序为：DB-07<DB-17<DB-15<DB-05。

表 6 沉降变形在累计变形判据条件下预警结果
Table 6 Early warning results of settlement deformation under cumulative deformation criteria

监测点编号	拟合方程	拟合度	极限累计值/mm	现有累计值/mm	分级指标 F_s	预警等级	排序
DB-05	$y=t/(0.05215+0.01141 * t)$	0.946	87.63	69.05	0.788	Ⅱ级	4
DB-07	$y=t/(0.05137+0.01139 * t)$	0.953	87.81	79.56	0.906	Ⅳ级	1
DB-15	$y=t/(0.04968+0.01174 * t)$	0.960	85.17	70.01	0.822	Ⅲ级	3
DB-17	$y=t/(0.05188+0.01146 * t)$	0.949	87.23	76.33	0.875	Ⅲ级	2

类比，再进一步开展侧位移变形在累计变形判据条件下的预警分级，结果见表 7，拟合度范围为 0.936~0.966，平均值为 0.953，说明拟合效果较优，且其分级指标 F_s 范围为 0.885~0.923，其中，仅

CX-09 监测点的值相对最小，预警等级属Ⅲ级，且值都已达 0.885；其余 3 个监测点的预警等级均是Ⅳ级。按分级指标 F_s 大小，再将 4 个监测点的安全性由弱至强排序为：CX-04<CX-17<CX-16<CX-09。

表 7 侧位移变形在累计变形判据条件下预警结果
Table 7 Early warning results of side displacement deformation under cumulative deformation criteria

监测点编号	拟合方程	拟合度	极限累计值/mm	现有累计值/mm	分级指标 F_s	预警等级	排序
CX-04	$y=t/(0.05691+0.01123 * t)$	0.936	89.01	82.16	0.923	Ⅳ级	1
CX-09	$y=t/(0.05428+0.01149 * t)$	0.952	87.03	77.02	0.885	Ⅲ级	4
CX-16	$y=t/(0.05066+0.01184 * t)$	0.966	84.44	76.59	0.907	Ⅳ级	3
CX-17	$y=t/(0.06035+0.01028 * t)$	0.957	97.32	89.05	0.915	Ⅳ级	2

据上，在累计变形判据条件下，沉降变形和侧位移变形的预警分级结果存在一定差异，两者对比，以侧位移变形的预警等级相对略高，安全性相对略低。

(2) 变形速率判据的预警结果

据表 8，4 个沉降监测点的 a 指数均大于 0.5，说明基坑沉降变形速率后续具增加趋势，只是趋势程度存在一定差异；据参数 C_M 值，4 个沉降监测点的变形速率序列具正相关，其相关性程度排序为：DB-05>DB-07>DB-17>DB-15。

据表 2 中分级标准，DB-05 监测点的预警等级属Ⅲ级，其余监测点均属Ⅱ级。

表 8 沉降变形在变形速率判据条件下预警结果

Table 8 Early warning results of settlement deformation under deformation rate criteria

评价指标	DB-05	DB-07	DB-15	DB-17
a 指数	0.663	0.605	0.549	0.551
$C_M/\%$	25.35	15.67	7.03	7.33

据表 9，各监测点的 a 指数也均大于 0.5，说明

基坑侧位移变形速率后续也具增加趋势；据参数 C_M 值，4 个侧位移监测点的变形速率序列具正相关，其相关性程度排序为：CX-16>CX-09>CX-17>CX-04。

据表 2 中分级标准，CX-09 监测点和 CX-16 监测点的预警等级属Ⅲ级，其余 2 个监测点的预警等级属Ⅱ级。

表 9 侧位移变形在变形速率判据条件下预警结果

Table 9 Early warning results of side displacement deformation under the condition of deformation rate criterion

评价指标	CX-04	CX-09	CX-16	CX-17
a 指数	0.516	0.672	0.687	0.539
$C_M/\%$	2.24	26.93	29.59	5.56

在变形速率判据条件下，沉降变形、侧位移变形预警分级结果的差异性不显著，主要都集中在Ⅱ~Ⅲ级，但两类变形的变形速率后续均呈增加趋势，这不利于基坑稳定。

2.4.3 基坑最终预警分级结果

基坑最终预警分级结果见表 10，相同监测点在不同判据条件下的预警等级也不相同，总体来说，

研究与应用

变形速率判据的预警等级相对偏低,且按不利原则确定,在沉降变形分级结果中,仅 DB-07 监测点的最终预警等级为Ⅳ级,其余监测点均为Ⅲ级;在侧位移变形分级结果中,仅 CX-09 监测点的最终预警等级为Ⅲ级,其余监测点均为Ⅳ级。

表 10 基坑最终预警分级结果

Table 10 Final early warning grading results of foundation pit

判据类型	沉降变形分级结果				侧位移变形分级结果			
	DB-05	DB-07	DB-15	DB-17	CX-04	CX-09	CX-16	CX-17
累计变形判据	Ⅱ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅳ级
变形速率判据	Ⅲ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅱ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅱ级
最终预警等级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅲ级	Ⅳ级	Ⅳ级
		Ⅳ级				Ⅳ级		

两类变形综合确定的预警等级都是Ⅳ级,即该基坑已非常危险,除增加监测频率外,还应立即停工,并响应防灾预案,组织专家确定补救措施,再加以实施稳定后再开展后续工作。

3 结论

通过对软土基坑大变形肇灾成因分析及预警研究,主要得出如下结论:

(1) 根据监测成果,基坑沉降变形量和侧位移变形量均已明显大于变形控制值,说明基坑变形特征显著,具有大变形特征。

(2) 软土基坑大变形肇灾成因相对较多,主要包括地层肇灾成因、降水异常肇灾成因、支护结构肇灾成因、临边荷载肇灾成因、支撑作用不理想的肇灾成因,各因素共同耦合作用造成了基坑大变形。

(3) PSO-DVMD-WT 模型对基坑变形数据具有良好的去噪效果,且通过累计变形判据和变形速率判据的预警分级,得出不同监测点的预警等级存在一定差异,按不利原则,综合确定基坑的预警等级为Ⅳ级,即该基坑已非常危险,应尽快开展防治研究。

参 考 文 献

[1] 代长生. 基于变形数据分解处理的基坑危险性潜势分级研究[J]. 地质与勘探, 2022, 58 (6): 1271-1280.

[2] 耿晔宽, 高芬芬, 周成君. 深厚软土地区基坑大变形机理与控制对策研究[J]. 岩土工程技术, 2018, 32 (6): 313-316.

[3] 龚模松, 刘叔灼, 罗佳俊, 等. 广州市高技能人才实训鉴定基地基坑大变形分析及应急处理[J]. 建筑结构, 2019, 49 (20): 116-120, 74.

[4] 倪小东, 王琛, 唐栋华, 等. 软土地区深基坑超大变形预警及诱因分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2022, 53 (6): 2245-2254.

[5] 王娟, 王兴科. 软土地区基坑侧位移变形预警及预测[J]. 长江科学院院报, 2021, 38 (8): 91-96, 103.

[6] 鞠兴华, 刘禹阳. 基于多元信息融合的基坑预警分级研究[J]. 水利水电技术(中英文), 2021, 52 (1): 129-136.

[7] 张志会, 张明, 王先斌. 基于尖点突变理论及速率比值法的基坑变形预警研究[J]. 水利水电技术, 2019, 50 (7): 174-180.

[8] 张敏, 严小坚, 张兵, 等. 基于改进机器视觉的深基坑开挖土方量近景监测方法[J]. 粉煤灰综合利用, 2022, 36 (6): 134-140.

[9] 牛全福, 李月锋, 张曼, 等. 基于 Kalman 滤波的 ARIMA-NAR 神经网络模型在深基坑沉降监测中的应用[J]. 兰州理工大学学报, 2022, 48 (2): 131-135.

[10] 郭健, 陈健, 胡杨. 基于小波智能模型的地铁车站基坑变形时序预测分析[J]. 岩土力学, 2020, 41 (增刊1): 299-304.

[11] 陈竹安, 熊鑫, 李亦佳. PSO-DVMD-WT 的变形信号去噪方法研究[J]. 测绘科学, 2020, 45 (8): 41-50.

[12] 叶玉龙, 张研, 袁普龙, 等. 基于优化变分模态分解的大坝变形组合预测模型: 以丰满水电站为例[J]. 科学技术与工程, 2024, 24 (26): 11401-11408.

[13] 张翌娜, 江琦, 张建伟, 等. 基于多影响因素联合的某抽水蓄能电站主厂房洞室围岩变形预测[J]. 水电能源科学, 2024, 42 (3): 161-165.

[14] 张蓓, 姚亚锋, 季京晨. 基于小波神经网络的地铁基坑地表沉降随机预测[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18 (11): 2899-2906.

[15] 钱建固, 吴安海, 季军, 等. 基于小波优化 LSTM-ARMA 模型的岩土工程非线性时间序列预测[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2021, 49 (8): 1107-1115.

[16] 徐忠涛. 富水软弱土层地铁车站深基坑降水开挖与数值模拟分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2021.

[17] 田成成, 张盛生, 张磊, 等. 基于尖点突变理论及非趋势波动分析的滑坡稳定性及变形特征研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2018, 38 (8): 806-810.